

# TECNOLOGÍA SOSTENIDA EN LA INDUSTRIA MINERA

Fernando Enrique Toledo Garay\*

## RESUMEN:

Muchos ingenieros y empresarios de minas creen que en la industria minera no se tiene alternativas para producir eficientemente sin dejar de contaminar los espacios geográficos. Con este argumento, recurren a proyectos de remediación del medio ambiente depredado por las operaciones de esta industria, sin lograr restaurar los daños causados pese al alto costo del proyecto.

En este trabajo, se propone retornar los relaves y desechos de la producción minera a los espacios vacíos ocasionados por la extracción del mineral en el subsuelo, a un bajo costo y alta productividad.

La tecnología limpia se puede lograr utilizando los equipos, herramientas y materiales que nos brinda la modernidad, sumado a un diseño creativo y un planeamiento de minado minucioso que involucre todos los problemas y soluciones, los que deben de conjugarse mediante la dirección científica del trabajo.

**Palabras clave:** Minería limpia

## ABSTRACT:

Many engineers and managers of mines believe that the mining industry doesn't have alternatives to produce efficiently without the pollution of geographical spaces; with this argument, they appeal to projects of treatment of the environment depredated by the operations of this industry, without being able to restore the damages caused in spite of the high cost of the project.

In this work it is intended to return the tailings and wastes from the mining production to the empty rock spaces caused by the extraction of the mineral in the underground, at a low cost and with high productivity.

The clean production can be achieved using the equipment, tools and materials that the modernity offers us, added to a creative design and a planning of meticulous mining that involves all the problems and solutions, those that should conjugate by means of the scientific direction of the work.

**Key words:** Clean Mining.

## I. INTRODUCCIÓN

En este nuevo siglo del mundo globalizado, la humanidad nos exige que el desarrollo de los pueblos sea sostenido, donde el progreso económico esté equilibrado con el bienestar social y la preservación del medio ambiente. Con esta perspectiva, en este trabajo se proyecta retornar la roca triturada al lugar de su origen y recircular el agua contaminada, con el menor costo de inversión,

menos contaminación del medio ambiente y mayores puestos de trabajo para el entorno social del yacimiento minero.

Con esta alternativa válida sólo para la explotación subterránea, se pretende iniciar una nueva etapa de la explotación de minas, tratando en lo posible de no alterar los espacios geográficos ocupados por la ganadería, la agricultura y la biodiversidad silvestre.

\* Profesor del Departamento Académico de Ingeniería de Minas - UNMSM  
Telefax: 464-8910 E-mail: [ftoledog@unmsm.edu.pe](mailto:ftoledog@unmsm.edu.pe)

$$Sw = \frac{B}{L} \times 100 = \frac{3.7}{2.8} \times 100 = 32\%$$

$$Sh = \frac{B}{C} \times 100 = \frac{3.7}{3.1} \times 100 = 19\%$$

## 2.1. Diferencia entre el relleno hidráulico y el depósito de relaves

### 2.1.1. Relleno hidráulico

El Relleno Hidráulico es una alternativa para rellenar los tajos explotados por el método de Corte y Relleno; esta alternativa empleada en el Perú desde mediados de la década de los años 60, se introdujo con la finalidad de incrementar la productividad, mas no con fines ecológicos. El Relleno Hidráulico, que es más eficiente que el Relleno Neumático, el Relleno Hidroneumático y el recientemente introducido Relleno en Pasta, fue el que en muchos casos reemplazó al Relleno Detrítico o Relleno Sólido transportado en carros mineros o en camiones, desde las canteras hasta los tajeos y a un costo mucho más elevado que los otros métodos de relleno que se efectúan transportando los sólidos en medios fluidos por tubería e impulsados por bombas.

El Relleno Hidráulico, así como cualquier método de relleno tiene dos fines primordiales: El primero es servir como piso de trabajo para efectuar la perforación, el disparo y el acarreo de mineral, y el segundo es servir de sostenimiento para que la mina no colapse debido al incremento de áreas abiertas.

La preparación para relleno y el relleno son parte de las etapas de minado, dentro del ciclo de explotación por el método de Corte y Relleno, ya sea ascendente o descendente. Estas actividades de preparación para relleno y el relleno ocupan del 30% al 40% de tiempo empleado dentro del ciclo.

Debido a la premura con que se deben ejecutar las actividades del ciclo de minado, el relleno debe cumplir ciertos requisitos de granulometría y velocidad de percolación o índice de permeabilidad.

El relleno hidráulico podría ser parte del relave desechado por la concentradora o cualquier material rocoso, aluvial o coluvial, sometido al proceso de chancado, tamizado, molienda y cicloneo.

Generalmente, se utiliza el relave desechado por la planta concentradora para ciclonear, a fin de pasar las arenillas del relave (superiores a la malla 200), las que caen a un tanque de agua donde es mezclado mediante un agitador. Esta mezcla de la arenilla del relave con el agua es el relleno hidráulico, el que es lanzado por una bomba de lodo recíprocante, a fin de ser transportado mediante una tubería de alta presión de doble capa, con la pared interior de acero de alta aleación, templado a 600 brinell de dureza. La potencia de la bomba y el diámetro de la tubería son calculados en función de las condiciones y requerimientos que se presenten particularmente en cada mina; asimismo, los costos de inversión y de operación obedecerán a parámetros particulares de cada caso.

Los finos del relave, resultantes del cicloneo, serán enviados a un depósito o cancha de relaves.

### 2.1.2. Depósito subterráneo de relaves

Los potenciales depósitos subterráneos pueden ser todos los tajeos terminados o vaciados del mineral roto, siempre que previamente hayan sido planificados y preparados con este fin. Los métodos de explotación de tajeos abiertos o de Corte y Reducción ("Shinkage") son ideales para depositar los relaves. También yacimientos explotados por Corte y Relleno se podrían rediseñar a fin de extraer el mineral por tajadas verticales, ya sea arrancando el mineral con rozadora, sisalladora o con voladura controlada, con la finalidad de extraer el mineral sin dañar las rocas encajonantes, dejando las cámaras abiertas y aptas para depositar el relave. Los tajeos siempre quedarían rellenos, de manera que esta etapa esté totalmente desligada del ciclo de minado y el relave sería enviado a la mina, tal como es desechado de la planta concentradora. Si los tajeos por rellenar estuvieran en la misma cota o por encima de la cota de las celdas de flotación, siempre será necesario bombear el relave a los depósitos subterráneos; en caso contrario, el relave bajaría por gravedad. Cada caso de explotación requerirá de un diseño particular para preparar los tajeos terminados como depósitos de relaves.

Obtener una producción minera limpia significa no llenar la superficie de la tierra con los escombros y los relaves ni derramarlos a los ríos y lagos.

### 2.2.3. Pautas para diseñar métodos de minado

En los libros editados en la década de los sesenta, los autores recomendaban estudiar las características mecánicas, forma y composición, tanto del relleno mineralizado como el de los hastiales; sin embargo, en muchas minas estas condiciones son relativas si no se trabaja con un planeamiento de minado racional, en la que se involucre la ventilación, el drenaje y el relleno de áreas abiertas.

Como antecedente y ejemplos de pésimos diseños y planeamientos de minado deficientes se pudieron observar en la década de los ochenta en Cerro de Pasco y San Juan de Lucanas donde la falta de ventilación producía derrumbes. En Morococha, San Cristóbal, Cerro de Pasco y Cobriza el drenaje deficiente causaba también derrumbes.

En Casapalca y la sección sulfurosa de Morococha se originan explosiones de los hastiales.

La inestabilidad de las rocas es la consecuencia de un planeamiento de minado inadecuado; cualquier estudio de "Geotecnia" no dará resultados, si los operadores no planifican. Casapalca tiene el relleno mineralizado y las rocas encajonantes más duras y tenaces del mundo; sin embargo, se produjeron explosiones de los hastiales debido a la extracción desmedida, desordenada e irracional de los bloques de mineral.

Teniendo en cuenta que un buen planeamiento involucra la ventilación, el drenaje y el relleno de labores, para obtener ahorros significativos en sostenimiento, remediación del medio ambiente, se-

guridad contra accidentes, entrapamiento de mineral (mineral inaccesible) y bajos costos por alta productividad, los métodos deben ser diseñados de manera que en todos los tajeos se viertan los desechos y el relave, pero el relleno debe estar separado y desligado de los demás pasos del ciclo, o sea, los ciclos deben encerrar sólo la perforación, la voladura y el acarreo del mineral, dejándose para el final de la explotación el relleno de los tajeos terminados. Sin embargo, la preparación para el relleno se debe planificar y ejecutar junto con la preparación para la explotación, a fin de no tener posteriores dificultades y problemas de fuga de agua y del relave.

En la figura N.º 1 se explican gráficamente los ciclos de explotación en el método de Corte y Relleno; aquí se puede ver que el relleno no es parte del ciclo de minado, el tajeo se convierte en receptáculo de relave. En la figura N.º 2 se observa el diseño adecuado en el método de Corte y Reducción (Shrinkage) para también servir como receptáculo de relaves.

### 2.2.4. Parámetros y costos referenciales para depositar los relaves en tajeos terminados por el método de shrinkage

Estos parámetros están referidos a la mina Casapalca (Yauliyacu): producción de mina: 3 270 t/día, generación de relave: 3 022 t/día, 126 t/hora, gravedad específica: 2,40, densidad de relave 123 g/l, contenido de sólidos en el relave: 30%. Granulometría: malla 35 = 1,70%, de malla 48 a + 400 = 84,10%, malla - 400 = 14, 20%.

Espacio vacío del tajeo: 1,20 m X 50 m X 110 = 6 600 m<sup>3</sup>.

Tiempo de rellenado de cada tajeo: 126 horas = 5 días

### FUERZA LABORAL EN ETAPA DE PREPARACIÓN

CATEGORÍA	HOMBRES X DÍAS	TAREAS
Minero	4 x 18	72
Oficial	4 x 18	72
Tubero	2 x 6	12
Operario	2 x 6	12
Total Tareas	-----	168

**COSTO DIRECTO PARA DEPOSITAR RELAVES EN TAJEOS VACÍOS EXPLOTADOS POR EL  
MÉTODO DE SHRINKAGE EN CASAPALCA**

<b>CENTRO DE COSTOS</b>	<b>COSTOS EN US \$</b>
Instalación de tubería	3 840
Preparación de tajeos	1 618
Labor diaria	4 956
<b>TOTAL</b>	<b>10 414</b>

Costo por tonelada depositada : US \$ 0,66 / t

Costo por metro cúbico depositado: US \$ 1,58 / m<sup>3</sup>

### III. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 3.1. Conclusiones

- 3.1.1 Al obtenerse una producción limpia, sin derramar los relaves y desechos industriales en los espacios geográficos, el impacto ambiental producido por la industria minera será ínfimo; consecuentemente, la remediación y sus costos serán ínfimos.
- 3.1.2 Sólo con el desarrollo de la ingeniería de minas se podrá resolver los problemas de extracción minera, conjugando los objetivos de productividad, seguridad, preservación ambiental y bienestar social, a fin de lograr la adecuada rentabilidad del proyecto, para la satisfacción de los inversionistas. Sólo el diseño creativo de mina, que guarde armonía con los adelantos en la fabricación de equipo e insumos y el planeamiento de minado que involucre a la óptima ventilación, drenaje, alumbrado y relleno de áreas abiertas inhábiles, dará acceso a la obtención de los objetivos deseados.
- 3.1.3 Cada yacimiento y cada mina presentan características peculiares respecto a altitud, clima, condiciones litológicas y mineralógicas, las cuales darán los parámetros específicos para el desarrollo de la ingeniería y el diseño adaptado a cada caso particular, pero orientado al desarrollo sostenido y los postulados de la Cumbre de Río de Janeiro.
- 3.1.4 No podemos engañar a la humanidad con la remediación del medio ambiente, siendo esta un sobre costo en las actuales condiciones

de operación industrial, cuando con la necesaria voluntad de cambio podemos obtener una producción limpia y de alta rentabilidad.

- 3.1.5 El dinero gastado en un diseño adecuado será recuperado por los ahorros generados por la mayor productividad y la eliminación de gastos en sostenimiento, remediación ambiental y recuperación de mineral atrapado.
- 3.1.6 La industria minera, generando un ínfimo impacto ambiental, podrá convivir en armónica concordancia con las demás industrias de la supervivencia humana; como son la agricultura, la ganadería y la pesquería.
- 3.1.7 Los métodos de explotación de producción masiva, como el Cielo Abierto ("Open pit"), Hundimiento por Bloques y Hundimiento por Subniveles, son los que producen mayor impacto ambiental. Por cada tonelada metálica extraída, se dejan 600 t o mayor volumen de escombros en los espacios geográficos; por lo tanto, tendrían los días contados en la faz de la tierra, si los estados y los gobiernos desearan realmente frenar la contaminación ambiental.

#### 3.2. Recomendaciones

- 3.2.1 Se recomienda a las empresas mineras desarrollar una ingeniería particular y adaptada a sus problemas, antes que copiar tecnología obsoleta, desarrollada con base en cálculos de ingeniería de décadas pasadas y en latitudes diferentes a las del Perú.

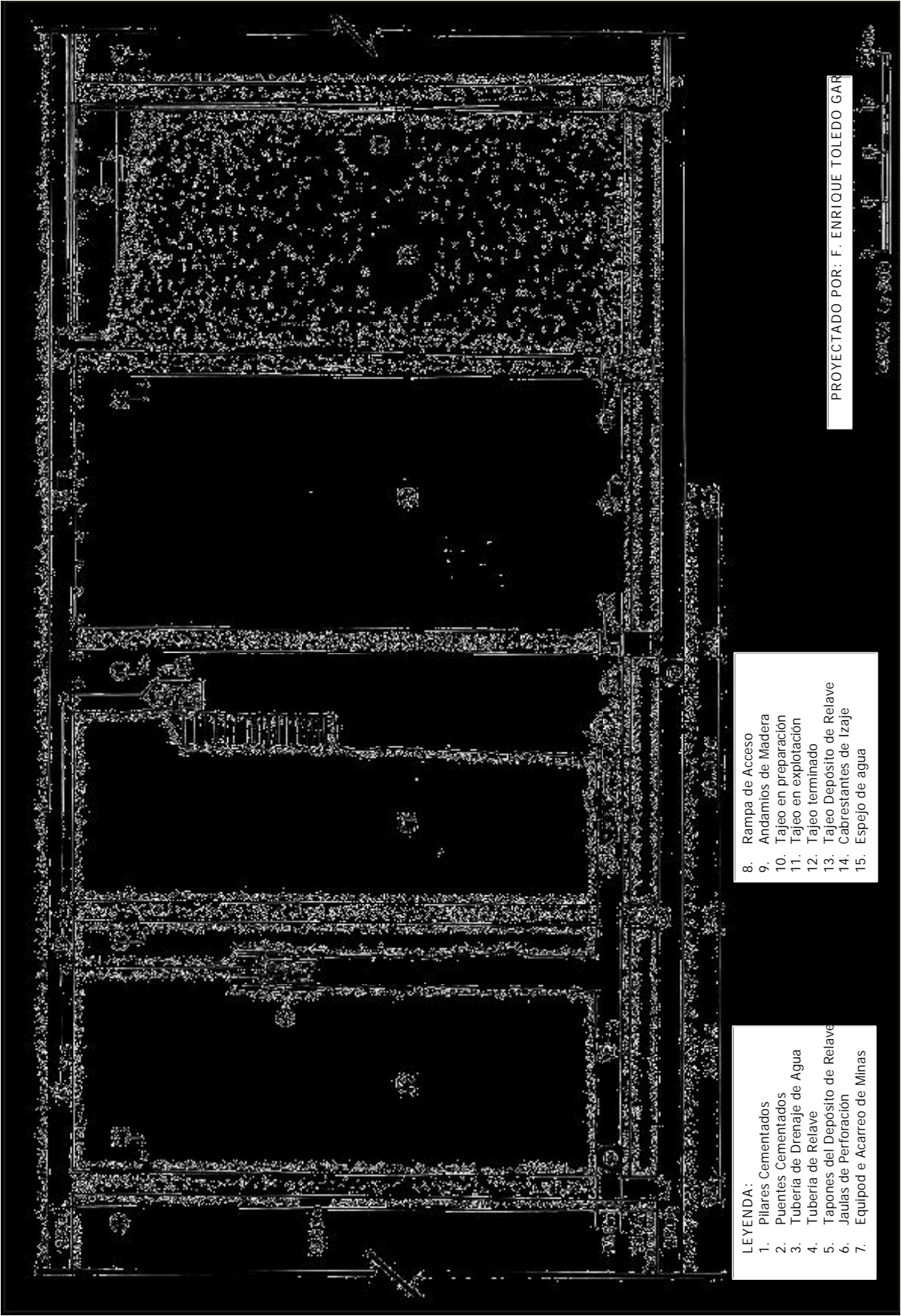


Figura N.º 1. Tajeos de corte y reducción

